

# Pemantauan dan Kontrol Pengalihan Catu Daya Menggunakan Arduino Nano dari Genset dan Baterai

1<sup>st</sup> Jeremy Moses  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

jeremymoses@student.telkomuniversitas.ac.id

2<sup>nd</sup> Sony Sumaryo  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

sonysumaryo@telkomuniversity.ac.id

3<sup>rd</sup> Estananto  
Fakultas Teknik Elektro  
Universitas Telkom  
Bandung, Indonesia

estananto@telkomuniversity.ac.id

*Panel surya semakin kerap menjadi solusi bagi masyarakat di daerah yang belum tersalurkan listrik dari negara. Energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya disimpan dalam baterai. Ada kalanya suatu baterai panel surya mengalami disfungsi, yaitu tidak dapat lagi menyuplai energi listrik. Dengan penelitian dalam Tugas Akhir ini, dibuatlah solusi untuk menanggulangi disfungsi dari baterai panel surya tersebut. Solusinya berupa digunakannya sistem pengalihan catu daya otomatis dan bermikrokontroler untuk mengganti catu daya yang digunakan dari baterai panel surya ke genset. Sistem ini juga akan menunjukkan keadaan sumber catu daya yang digunakan dengan beberapa indikator tertentu. Ada beberapa metode yang digunakan dalam penelitian di tugas akhir ini: Studi Literatur, Analisis Statistik, Pengukuran Empirik, Perancangan, Simulasi, dan Implementasi. Aksi sistem pengalihan catu daya ini masih mengijinkan toleransi sambungan listrik terputus selama kurang lebih 2,158 detik sebelum kembali disambungkan dan dialihkan ke catu daya yang mampu untuk menyuplai daya. Harapannya, penelitian dalam Tugas Akhir ini menghasilkan alat yang dapat digunakan di rumah yang belum tersalurkan energi listrik.*

**Kata kunci**—*pengalihan catu daya, mikrokontroler, otomatis, baterai, genset, panel surya off-grid*

## I. PENDAHULUAN

Pengetahuan dan kepedulian terhadap lingkungan dari masyarakat dunia semakin meningkat. Selaras dengan hal itu, akhir-akhir ini, panel surya semakin banyak digunakan oleh masyarakat dunia. Bahkan kapasitas panel surya yang terpasang secara global adalah sebesar 100 GW pada tahun 2012 [1].

Tidak jarang ditemui juga, rumah-rumah di desa pedalaman yang menggunakan panel surya Off-Grid sebagai sumber energi listriknya. Biasanya, panel surya tersebut didampingi oleh genset sebagai catu daya cadangan apabila suplai energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya masih kurang dari yang dibutuhkan oleh warga rumah.

Pengisian daya pada baterai akan terjadi apabila panel surya dapat bekerja dengan memanfaatkan sinar matahari untuk menghasilkan energi listrik, Energi listrik yang dihasilkan tersebut selanjutnya akan dialirkan ke baterai untuk ditampung. Disfungsi adalah tidak berfungsinya sesuatu secara normal atau terganggu fungsinya. Suatu

baterai yang tidak dapat lagi menyuplai energi listrik dapat dikatakan juga mengalami disfungsi.

Jadi, pada tugas akhir ini, dilakukan penelitian untuk membuat suatu teknologi yang dapat mengalihkan catu daya yang digunakan dari baterai panel surya ke genset ataupun sebaliknya secara otomatis dalam waktu kira-kira 2,158 detik jika terjadi kendala kelistrikan.

Tujuan dari penelitian yang dilakukan di tugas akhir ini:

1. Memindahkan sumber catu daya yang digunakan oleh peralatan elektronik dari yang semula adalah baterai menjadi genset dan sebaliknya secara otomatis dengan toleransi putusnya arus listrik dari baterai adalah kurang lebih 2,1 detik sebelum catu daya disambungkan kembali.
2. Merancang konsep sistem pengalihan catu daya dari baterai panel surya dan genset.
3. Mengimplementasikan sistem pengalihan catu daya dari baterai panel surya dan genset dalam rangkaian perangkat keras.

Berikut merupakan identifikasi masalah dalam penelitian ini:

1. Bagaimana cara menanggulangi putusnya energi listrik yang disalurkan dari baterai ke alat elektronik?
2. Bagaimana perancangan konsep sistem pengalihan catu daya dari baterai panel surya dan genset?
3. Bagaimana pengimplementasian sistem pengalihan catu daya dari baterai panel surya dan genset dalam rangkaian perangkat keras?

Berikut merupakan metode yang digunakan dalam penelitian ini:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan lewat beberapa jurnal ilmiah, buku ilmiah, kamus besar bahasa Indonesia, dan penelitian tugas akhir mahasiswa.

2. Analisis Statistik

Analisis dilakukan dengan pembelajaran literatur untuk menyelesaikan permasalahan acuan dan tujuan yang hendak dicapai.

3. Pengukuran Empirik

Pengukuran empirik dilakukan pada saat perancangan, simulasi, dan implementasi.

4. Perancangan

Merancang konsep sistem sesuai hasil analisis statistik melalui diagram blok, cara kerja sistem, dan diagram rancangan *printed cicuit board*.

5. Simulasi

Simulasi diadakan untuk mengetahui hal yang kurang ataupun hal yang sudah tepat sesuai analisis dan rancangan awal yang kemudian akan di implementasikan.

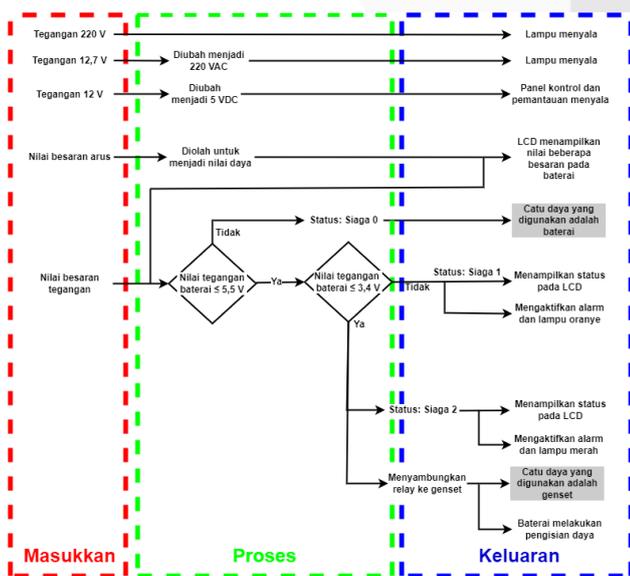
6. Implementasi

Implementasi dilakukan dengan membuat realisasi konsep awal untuk dijadikan rangkaian elektronik dengan menggunakan perangkat-perangkat keras.

II. KAJIAN TEORI

A. Desain Konsep Solusi

Ada 2 data masukkan yang digunakan oleh sistem pengalihan catu daya ini. Masukkan nilai tegangan pada baterai akan menentukan apakah pengalihan catu daya perlu untuk dilakukan. Jika nilai tegangan pada baterai kurang dari sama dengan 5,5 V, maka status siaga ada di level 1. Sedangkan jika nilai tegangan pada baterai bernilai kurang dari sama dengan 3,4 V, maka status siaga ada di level 2 (nilai 5,5 V dan 3,4 V didapat dari uji coba secara mandiri untuk menentukan di tegangan berapa status siaga diberikan) Masing-masing level status siaga akan memiliki proses yang berbeda sesuai pada desain konsep solusi di atas. Satu masukkan yang lain, berupa nilai arus pada beban, akan ditampilkan pada LCD (*Liquid Crystal Display*).



GAMBAR 1

B. Panel Surya Off-Grid

Panel surya adalah suatu alat elektronik yang memanfaatkan sinar matahari untuk menghasilkan energi listrik. Panel surya Off-Grid adalah sumber listrik rumah tangga yang pembangkit listriknya terdiri dari panel surya dan sebuah genset.

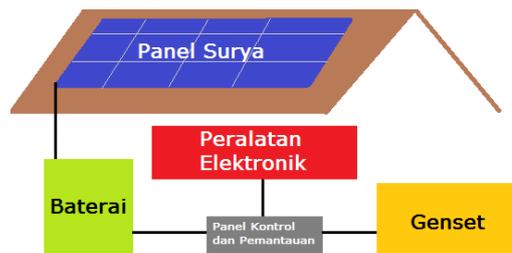
C. Genset

Genset adalah pembangkit listrik yang menggunakan diesel sebagai bahan bakar untuk menghasilkan arus listrik. Genset atau generator set mendapatkan namanya karena di dalam genset, ada satu set peralatan gabungan dari dua perangkat yang berbeda, yaitu mesin dan generator. Perangkat mesin biasanya mesin diesel sebagai motor penggerak, sedangkan generator merupakan perangkat untuk membangkitkan energi listrik [8].

III. METODE

A. Desain Sistem

Panel surya digunakan sebagai pembangkit listrik utama pada rumah dengan sistem pembangkit listrik Off-Grid. Listrik yang dihasilkan oleh panel surya kemudian akan dialirkan dan disimpan dalam baterai aki. Baterai aki sebagai pencatu daya utama dari peralatan elektronik yang berada di dalam rumah. Panel kontrol dan pemantauan akan selalu membaca tegangan pada baterai.



GAMBAR 2

B. Perancangan Sistem Kelistrikan

Perancangan ini bertujuan untuk mendapatkan nilai energi total yang dibutuhkan beban listrik, kapasitas dan jumlah panel surya, baterai, dan genset yang digunakan, serta menentukan bagaimana moda operasi kelistrikan bekerja. Berikut merupakan tahapan dalam perancangan sistem kelistrikan:

1. Menentukan energi total yang dibutuhkan beban setiap harinya

Beban yang akan digunakan berupa empat buah lampu LED dengan daya masing-masing 7 Watt, dua buah kipas angin dengan daya masing-masing 25 Watt, televisi LED dengan daya 24 Watt, dan dua buah lampu LED dengan daya masing-masing 15 Watt, pompa air listrik dengan daya 90 Watt, blender dengan daya sebesar 190 Watt, dan lemari es dengan daya 38 Watt. Durasi penggunaan beban dan energi yang dibutuhkan tiap beban, disajikan dalam bentuk tabel pada halaman lampiran. Dari tabel tersebut, didapatkan energi total yang dibutuhkan oleh beban peralatan listrik adalah sebesar 3067 Wh per harinya.

2. Menentukan jumlah daya total yang perlu ditanggung panel surya

Dalam menentukan jumlah daya total yang perlu ditanggung panel surya, digunakan rumus dibawah ini:

$$Wp = \frac{E_0}{PSH \cdot \alpha} \cdot CF \quad (1)$$

Keterangan:

$E_0$  = Energi yang perlu untuk disuplai PV (Wh)

PSH = Peak Sun Hour (3-5 jam)

$\alpha$  = Efisiensi sistem (0,67 - 0,75)

CF = Faktor Koreksi (1,1 - 1,5)

$$Wp = \frac{3067}{5 \cdot 0,67} \cdot 1,1$$

$$Wp = 1007,074 \text{ Watt}$$

### 3. Menentukan jumlah panel surya

Dalam menentukan jumlah panel surya, digunakan rumus dibawah ini:

$$\text{Jumlah PV} = \frac{Wp}{\text{Watt Peak PV}} \quad (2)$$

$$\text{Jumlah PV} = \frac{1007,074}{540}$$

$$\text{Jumlah PV} = 2$$

### 4. Menentukan rata-rata Ah (Ampere hour) per hari pada baterai

Dalam menentukan rata-rata Ah (Ampere hour) per hari pada baterai, digunakan rumus dibawah ini:

$$\text{Rata - rata Ah per hari} = \frac{\frac{\text{Rata-rata beban AC}}{\alpha_{\text{Inverter}}} + \text{beban DC}}{V_{\text{sistem}}} \quad (3)$$

Keterangan:

$\alpha_{\text{Inverter}}$  = Efisiensi Inverter

$V_{\text{sistem}}$  = 12 V (tegangan sistem dengan kapasitas panel surya sebesar 100 Wp pada umumnya)

$$\text{Rata - rata Ah per hari} = \frac{\frac{3067}{22,72} + 0}{12}$$

$$\text{Rata - rata Ah per hari} = 11,249 \text{ Ah}$$

### 5. Menentukan total Ah (Ampere hour) pada baterai

Dalam menentukan total kapasitas (Ah) pada baterai, digunakan rumus di bawah ini:

$$\text{Total Ah} = \text{rata-rata Ah per hari} \cdot \text{DoA} \quad (4)$$

Keterangan:

DoA = Jumlah hari dimana baterai tidak perlu di-charge (biasanya 3-5 hari)

$$\text{Total Ah} = 11,249 \cdot 5$$

$$\text{Total Ah} = 56,245 \text{ Ah}$$

### 6. Menentukan jumlah baterai yang dipasang secara paralel

Dalam menentukan jumlah baterai yang dipasang secara paralel, digunakan rumus di bawah ini:

$$\text{Jumlah Baterai Paralel} = \frac{\text{Total Ah}}{\alpha_{\text{DB}} \cdot C} \quad (5)$$

Keterangan:

$\alpha_{\text{DB}}$  = Efisiensi

Discharge baterai

C = kapasitas baterai (Ah)

$$\text{Jumlah Baterai Paralel} = \frac{56,245}{48\% \cdot 12}$$

$$\text{Jumlah Baterai Paralel} = 10$$

### 7. Menentukan jumlah baterai yang dipasang secara seri

Dalam menentukan jumlah baterai yang dipasang secara seri, digunakan rumus di bawah ini:

$$\text{Jumlah Baterai Seri} = \frac{V_{\text{sistem}}}{V_{\text{baterai}}} \quad (6)$$

$$\text{Jumlah baterai seri} = \frac{12}{12}$$

$$\text{Jumlah baterai seri} = 1$$

### 8. Menentukan beban daya bersih tertinggi dan terendah pada waktu switch dapat dilakukan:

Switch dapat dilakukan di jam 12 siang hingga jam 9 malam (jam kerja warung yang ada di rumah konsumen). Beban daya tertinggi terjadi di jam 2 siang dengan beban daya sebesar 392 Wh dan terendah di jam 9 malam dengan beban daya sebesar 218 Wh. Untuk mengetahui nilai beban daya bersih, digunakan rumus:

$$\text{Beban daya bersih} = \text{beban daya} \cdot \text{Rule of Thumb Power Factor} \quad (3.7)$$

Keterangan:

$$\text{Rule of thumb power factor} = 0,9 - 0,85$$

Dengan rumus di atas, didapatkan beban daya bersih maksimum sebesar 336,9 Wh dan beban daya bersih minimum sebesar 186,7 Wh.

### 9. Menentukan pembebanan minimum genset

Pembebanan minimum genset diperlukan untuk menjaga kinerja baterai agar tetap baik dan awet. Rule of Thumb pembebanan genset adalah 40% dari kapaasitas daya minimalnya. Tugas akhir ini menggunakan genset dengan

kapasitas daya sebesar 450 – 550 W. Jadi, pembebanan minimum yang diperlukan agar genset tetap bekerja dengan optimal adalah sebesar 180 W.

10. Menentukan kelayakan penggunaan genset untuk mencatu beban listrik

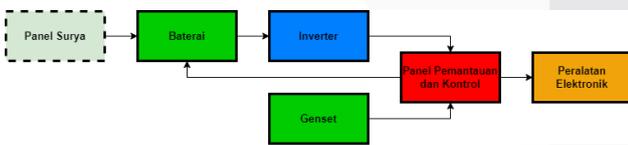
Kelayakan sistem dapat diketahui saat dipakainya genset untuk mencatu beban. Dari dua perhitungan di atas (tahap nomor 8 dan nomor 9), diketahui beban daya bersih minimum sebesar 186,7 Wh dan pembebanan minimum yang diperlukan agar genset tetap bekerja dengan optimal adalah sebesar 180 W. Nilai beban daya bersih minimum lebih besar dari pada pembebanan minimum genset, sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan genset untuk mencatu beban adalah sesuai.

Dari beberapa tahapan perhitungan sebagai kaidah perancangan kelistrikan di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Total energi harian yang dibutuhkan beban adalah sebesar 596 Wh
2. Digunakan 2 buah panel surya dengan kapasitas daya sebesar 100 Wp
3. Digunakan 2 buah baterai yang disusun secara paralel dengan kapasitas 12 Ah
4. Digunakan genset 2 tak 750 Watt
5. Switch dapat dilakukan di jam 12 siang hingga 9 malam untuk semua beban peralatan listrik yang sedang digunakan

C. Diagram Blok Sistem

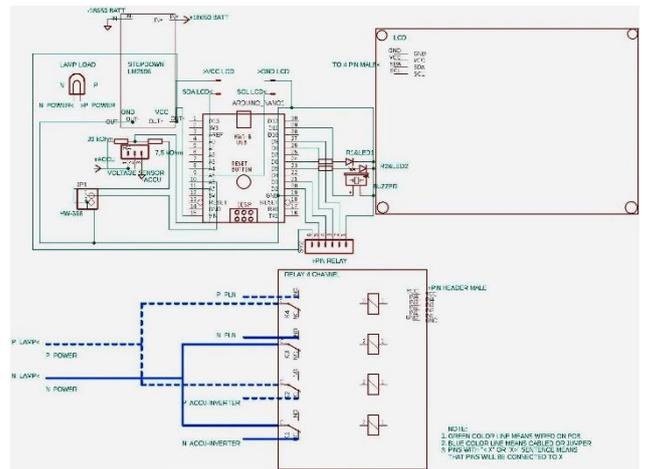
Panel surya berfungsi untuk memberi arus listrik ke baterai. Baterai dapat memberi informasi mengenai besaran tegangan yang akan dibaca oleh panel pemantauan dan kontrol. Panel pemantauan dan kontrol dapat memutuskan dan meyambungkan kembali baterai dan genset kepada rangkaian sistem elektrik. Peralatan elektronik yang dirancang memiliki beban daya sebesar 3067 Wh. Sisa energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya pada siang hari, akan di simpan pada baterai untuk digunakan pada malam hari.



GAMBAR 3

D. Diagram Pengkabelan

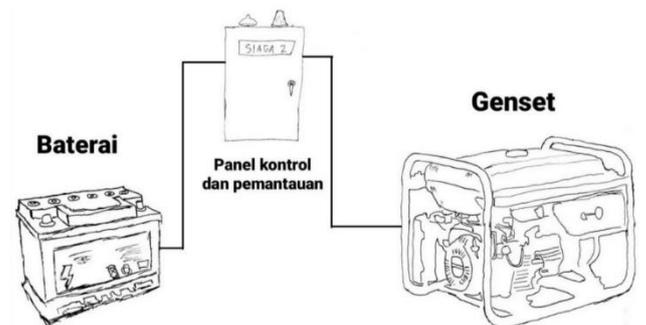
Keseluruhan sistem terdiri dari, sumber tegangan, beban, indikator, bagian kontrol, dan bagian pemantauan.



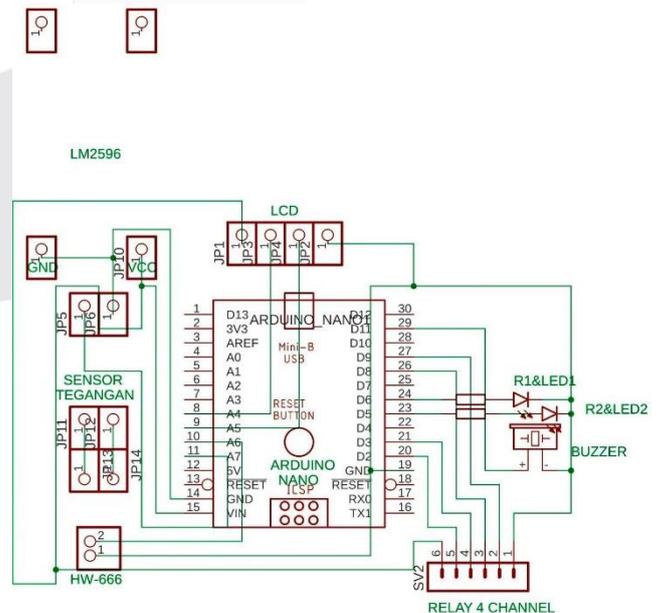
GAMBAR 4

E. Desain Perangkat Keras

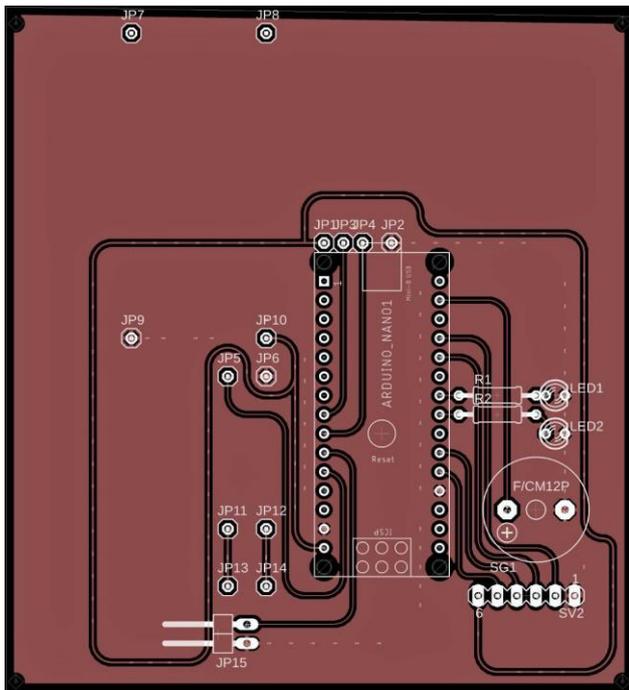
Panel kontrol dan pemantauan akan terintegrasi dalam Printed Circuit Board (PCB) yang berisi Arduino Nano, LCD 20x4, relay 4 channel, sensor rus HW-666, sensor tegangan, LM2596, Buzzer, 2 LED, 1 buah enam pin header tipe male, dan 2 resistor 220 ohm. Kemudian PCB ini akan dihubungkan dengan lampu, baterai, dan genset.



GAMBAR 5



GAMBAR 6



GAMBAR 7

Berikut merupakan spesifikasi dari *relay channel*:

1. Tegangan suplai: 3.75V-6V
2. Arus pemicu: 5mA
3. Arus saat aktif: ~70 mA
4. Tegangan maksimal saat aktif: voltage – 250VAC, 30VDC
5. Arus maksimal: 10A

I. HW-666

HW-666 merupakan modul sensor arus AC yang memiliki komponen utama yaitu sensor ZMCT103C. Sensor ini menerapkan konsep *hall effect* dalam pengukuran arus listrik. *Hall effect sensor* akan menghasilkan tegangan yang proporsional dengan kekuatan medan magnet yang diterima oleh kepingan silikon di dalam sensor tersebut [24].

TABEL 3

Spesifikasi	Nilai
Pembacaan Arus	0-5 Ampere
Rasio Pembacaan Arus	5 A/5 mA
Resistor Tertanam	200 Ohm

F. Arduino Nano

Arduino merupakan sebuah modul mikrokontroler yang bersifat *open source* yang berarti Arduino dapat digunakan, disebarluaskan, dan dikembangkan secara bebas. Arduino Nano merupakan salah satu jenis mikrokontroler. Berikut merupakan spesifikasi dari Arduino Nano:

TABEL 1

Parameter Penilaian	Keterangan
Prosesor	ATMega328
Tegangan Kerja	5 Volt
Tegangan Masukkan	5-12 Volt
Pin Digital	22
Pin Analog	8

G. LCD 20X4

LCD adalah teknologi layar digital yang menghasilkan citra pada sebuah permukaan yang rata dengan memberi sinar pada kristal cair. Kristal cair ini merupakan campuran organik yang memiliki struktur molekul polar yang diapit oleh sepasang kaca bening dan sepasang elektrode transparan [11].

TABEL 2

Spesifikasi	Nilai
Arus Input Maksimum	30 mA
Tegangan Kerja	3,3 Volt
Tegangan Masukkan Maksimum	23,6 Volt

H. Relay 4 Channel

*Relay* adalah sakelar yang beroperasi dengan menggunakan konsep elektromagnet. Fungsi dari *relay* adalah untuk memutuskan dan menyambung aliran listrik. *Relay* terdiri dari 3 bagian utama yaitu pegas, poros besi, dan koil.

J. LM2596

LM2596 adalah *integrated circuit* (IC) yang berfungsi untuk menurunkan tegangan *direct current* (DC). Ada dua macam seri dari LM2596, yaitu *adjustable* dan *fixed voltage output*. Tegangan dapat diturunkan dengan memutar potensiometer pada LM2596 [14].

Berikut merupakan spesifikasi LM2596:

1. Tegangan keluaran: 1,23 V – 37 V
2. Arus keluaran: 3 A
3. Tegangan masukan: maksimal 40 V
4. Osilator: 150 kHz
5. Arus mode *standby*: typ 80mA
6. Proteksi pembatas suhu dan arus

K. Baterai Aki

Baterai adalah suatu alat yang digunakan untuk menyimpan energi kimia yang kemudian akan diubah mejadi energi listrik untuk menyuplai peralatan elektronik untuk dapat digunakan. Arus listrik dapat dihasilkan oleh baterai dari reaksi kimia antara pelat besi dan asam sulfat yang berada di dalam larutan elektrolit di dalam baterai [18].

TABEL 4

Spesifikasi	Nilai
Voltase	12 Volt
Arus	3,5 Ah
Laju Arus Pengisian	0,4 A x 10 h atau 3 A x 0,5 h

Dept of Discharge (DOD) pada baterai maksimal adalah di angka 10,5 Volt (SOC = 10,5 Volt juga). Sensor akan membaca maksimal di 10,6 Volt yang menandakan baterai

perlu diputus dan kembali dicas supaya tidak terjadi penurunan *lifetime* yang signifikan pada baterai.

L. Inverter

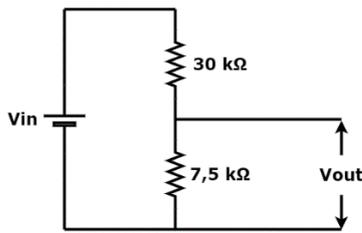
Inverter adalah alat pengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak-balik (AC) dengan nilai tegangan dan frekuensi yang dapat disesuaikan. Inverter biasanya memperoleh arus listrik masukkan dari baterai/aki. Keluaran inverter berupa arus listrik AC dengan bentuk gelombang kotak (*square wave*), atau gelombang sinus termodifikasi (*modified sine wave*), atau gelombang sinus penuh (*sine wave*) [19].

TABEL 5

Spesifikasi	Nilai
Daya	40 W
Voltase masukkan	12 V DC
Voltase keluaran	220 V AC

M. Sensor Tegangan

Sensor tegangan yang digunakan tidak memiliki modul khusus, namun hanya berupa rangkaian tegangan pembagi saja. Berikut merupakan rangkaiannya:

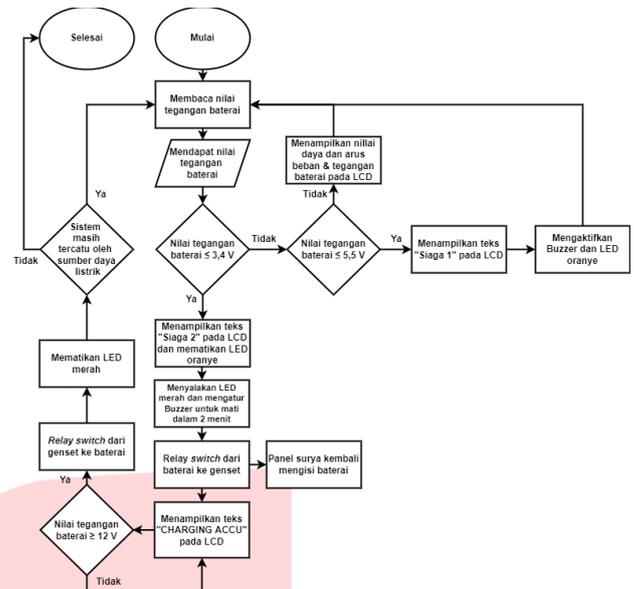


GAMBAR 8

Konsep kerja dari sensor ini adalah membagi tegangan  $V_{in}$  menjadi  $V_{out}$  yang selanjutnya akan dibaca oleh Arduino untuk menentukan nilai  $V_{in}$ . Tegangan  $V_{in}$  harus memiliki rentang nilai dari 0-25 Volt. Jika lebih dari 25 Volt, tegangan  $V_{out}$  akan memiliki nilai lebih dari 5 Volt yang bisa merusak Arduino. Kedua resistor berfungsi sebagai pembagi tegangannya.

N. Diagram Alir Sistem

Diagram alir dimulai dengan proses pembacaan nilai tegangan baterai. Setelah itu dilakukan pengecekan berupa nilai tegangan baterai. Jika nilai tegangan baterai  $\leq 3,4$  V, maka akan dilakukan proses: menampilkan teks "Siaga 2" dan "CHARGING ACCU" pada LCD, menyalakan LED merah, serta mematikan LED oranye (LCD akan tetap menampilkan nilai tegangan, arus, dan daya pada baterai secara bergantian dengan menampilkan teks "Siaga 2"). Jika nilai tegangan pada baterai diantara 5,5 V dan 3,4 V (nilai 5,5 dan 3,4 V termasuk), maka LCD akan menampilkan teks "Siaga 1" dan mengaktifkan LED oranye serta Buzzer (LCD akan tetap menampilkan nilai tegangan, arus, dan daya pada baterai secara bergantian dengan menampilkan teks "Siaga 1"). Jika tegangan baterai bernilai  $> 5,5$  V, maka LCD hanya akan menampilkan beberapa nilai besaran pada baterai. Diagram alir selesai apabila catu daya tidak mencatukan lagi dayanya ke sistem panel kontrol dan pemantauan.

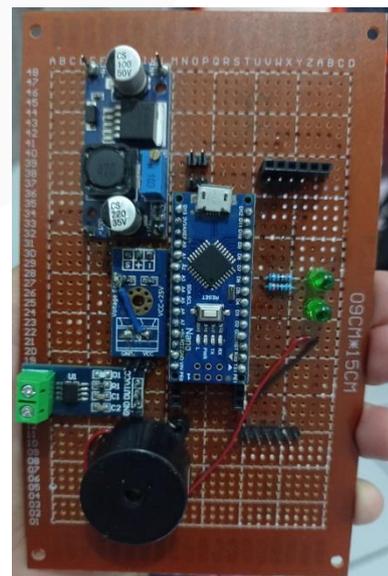


GAMBAR 9

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Implementasi Perangkat Keras

Panel berupa PCB bolong yang disolder oleh beberapa komponen elektronik, seperti: LM2596, pin *header male*, Arduino Nano, sensor tegangan, resistor, LED, ACS712, dan Buzzer. Implementasi alat pada gambar menunjukkan prototipe beban, catu daya, dan sistem pengalihan catu daya. Implementasi alat terdiri dari papan, panel kontrol dan pemantauan, baterai 18650, LCD, Relay 4 Channel, aki motor, terminal listrik, empat buah lampu AC dengan beban daya masing-masing 7 W, inverter, dan steker listrik beserta kabelnya.



GAMBAR 10



GAMBAR 11

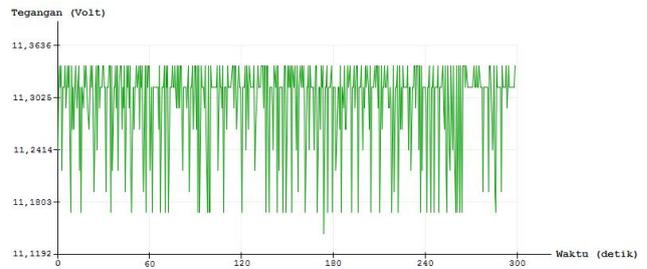
B. Kalibrasi Sensor Tegangan

Tahap pertama untuk melakukan kalibrasi sensor tegangan adalah dengan menghilangkan *noise* (derau). Derau dalam sensor tegangan berupa besaran tegangan yang terbaca pada sensor saat seharusnya sensor belum membaca tegangan (catu daya yang diukur belum disambungkan ke kedua kaki sensor untuk dibaca tegangannya). Tegangan *noise* yang terbaca oleh sensor didapat dari pembacaan Serial Plotter yang dilakukan oleh pin A7 Arduino Nano. Pemantauan nilai tegangan yang terbaca pada Serial Plotter dilakukan selama 6 menit lebih 51,5 detik. Pada menit ke 4 lewat 52 detik, terjadi gelombang *overshoot* maksimum yaitu saat fitur Serial Plotter Arduino membaca nilai tegangan sebesar 0,1710 Volt, yang seharusnya bernilai 0 Volt. Gelombang *overshoot* inilah yang dinamakan dengan *noise*.



GAMBAR 12

Langkah selanjutnya yaitu membaca nilai tegangan baterai aki. Di langkah ini, nilai yang terbaca pada fitur Serial Plotter di Arduino IDE adalah nilai yang sebenarnya (bukan nilai *noise* lagi). Pemantauan nilai tegangan yang terbaca pada Serial Plotter dilakukan selama 5 menit dan menghasilkan rentang nilai tegangan yang terbaca adalah di angka 11,1681-11,3391 Volt.

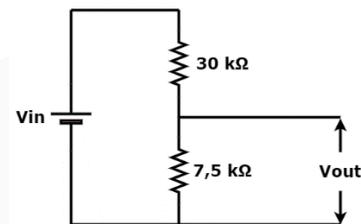


GAMBAR 13

Sebelumnya, pernah dilakukan pengujian di awal-awal kalibrasi sensor. Saat sensor tidak digunakan untuk membaca tegangan baterai aki, nilai tegangan yang terbaca adalah 0,3910 Volt (angka maksimum selama beberapa selang waktu). Jadi, setelah dilakukan pembacaan nilai tegangan pada saat sensor tegangan digunakan dan tidak digunakan, ditemukannya nilai *noise* yaitu sebesar 0,3910 Volt. Oleh karena itu, bila nilai tegangan yang terbaca adalah 0,3910 atau dibawahnya, pembacaan tegangan oleh sensor akan dianggap sama dengan 0 Volt, untuk mengkalibrasi sensor tegangan.

C. Perhitungan Nilai Tegangan Pada Sensor Tegangan

Pada dasarnya, sensor memiliki rangkaian pembagi tegangan seperti ini:



GAMBAR 14

Vin merupakan tegangan pada sumber listrik yang ingin dihitung nilai tegangannya. Dalam TA ini, tegangan Vin berasal dari baterai aki. Tegangan pada baterai aki akan dibagi oleh kedua resistor 30 kOhm dan 7,5 kOhm. Tujuan tegangan dibagi oleh rangkaian dan kedua resistor tersebut adalah untuk memberikan Vout kurang dari 5 Volt (batas maksimum tegangan yang dapat dibaca oleh Arduino Nano). Nilai Vout inilah yang akan dihitung untuk menentukan besar nilai Vin. Dalam menghitung nilai tegangan Vin, diterapkan beberapa tahapan:

1. Menghitung nilai Vout

$$Vout = \frac{adc \cdot 5}{1023} \tag{7}$$

Keterangan:

Vout = Nilai pembagian tegangan dari catu daya oleh sensor yang dibaca oleh Arduino (V)  
 adc = Nilai hasil proses ADC dari masukkan Vout

Angka 5 = Tegangan maksimum yang dapat diterima oleh pin analog Arduino

Angka 1023 = Representasi tegangan maksimum dalam bentuk digital yang bisa diterima oleh pin Arduino (didapat dari  $2^{10} - 1$ , angka 10 merupakan jumlah bit pada Arduino).

2. Menghitung nilai Vin

$$V_{in} = \frac{V_{out}}{7,5 \text{ k}\Omega / (30 \text{ k}\Omega + 7,5 \text{ k}\Omega)} \tag{8}$$

Keterangan:

Vin = Nilai tegangan sumber listrik yang akan diukur (V)

Vout = Nilai pembagian tegangan dari catu daya oleh sensor yang dibaca oleh Arduino (V)

Angka 30 kΩ = Nilai resistansi resistor 1 pada sensor

Angka 7,5 kΩ = Nilai resistansi resistor 2 pada sensor

D. Hasil Pengujian Sensor Tegangan

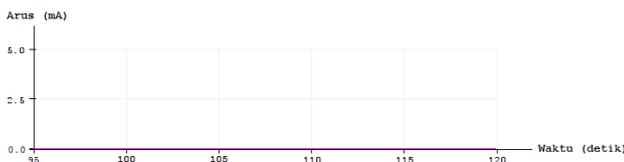
Dari tabel pengujian sensor tegangan, didapatkan rata-rata selisih 10 nilai tegangan yang dibaca oleh sensor tegangan dan multimeter adalah 0,056 V dengan persentasenya sebesar 0,534%.

TABEL 6

Nomor	Nilai Tegangan		Persentase Error (%)
	Sensor Tegangan (Volt)	Multimeter (Volt)	
1	11,30	11,35	0,44
2	11,21	11,35	1,23
3	11,33	11,35	0,17
4	11,30	11,35	0,44
5	11,33	11,35	0,17
6	11,25	11,35	0,88
7	11,30	11,35	0,44
8	11,21	11,35	1,23
9	11,33	11,35	0,17
10	11,33	11,35	0,17
Rata-rata persentase error (%)			0,534

E. Penentuan Nilai Noise Pada Sensor Arus

Telah dilakukan percobaan untuk membaca noise berupa nilai arus dari sinyal data yang dikirimkan oleh sensor arus ke pin A6 Arduino. Saat sensor arus membaca kabel listrik yang tidak dialiri arus listrik selama 2 menit, tidak ditemukan kejadian di mana sensor membaca besaran arus pada kabel listrik. Berikut merupakan grafik pada Serial Plotter Arduino di akhir waktu percobaan tersebut:

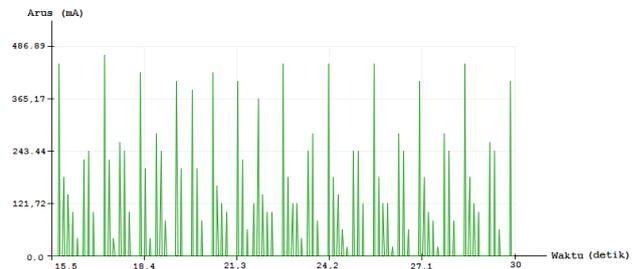


GAMBAR 15

Dari percobaan selama 2 menit tersebut, dapat disimpulkan bahwa sensor arus tidak memiliki noise untuk dihilangkan dalam pembacaan nilai arus listrik.

F. Penentuan Batas Pembacaan Nilai Arus dari Nilai Digital Besaran Arus

Telah dilakukan percobaan untuk membaca jangkauan nilai arus dari sinyal data yang dikirimkan oleh sensor arus ke pin A6 Arduino. Berikut merupakan grafik pembacaannya saat kabel listrik diberikan tegangan 218 Volt AC:



GAMBAR 16

Pembacaan nilai arus tersebut dilakukan selama 30 detik. Dari hasil percobaan tersebut, didapatkan 88 data berupa nilai arus. Nilai-nilai data tersebut memiliki jangkauan sebesar 466,60 mA. Dari data-data ini, ditentukan nilai rata-rata yang akan menjadi batasan sensor arus dalam membaca nilai digital besaran arus untuk menghitung besar nilai arus yang sesungguhnya, dengan menggunakan rumus:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^{88} x_i}{88} \tag{9}$$

Keterangan:

A = rata-rata pembacaan seluruh data

xi = data ke-i

Didapatkan A senilai 169,90 mA. Dari angka ini, ditentukan supaya sensor arus hanya akan membaca nilai arus sebesar 138,2209 mA dan 155,4984 saja. Nilai 169,90 mA setara dengan nilai A sebesar 8,375 (nilai digital). Sedangkan, nilai 138,2209 mA dan 155,4984 setara dengan nilai digital 8 dan 9. Jadi, pemilihan 2 nilai besaran arus yang dibaca berasal dari nilai digital terdekat yang berada di atas dan di bawah 8,375, yaitu nilai digital 8 dan 9.

G. Perhitungan Nilai Arus Pada Sensor Arus Sebelum Dikalibrasi

Nilai digital yang terbaca oleh Arduino Nano digunakan untuk menghitung nilai arus yang sebenarnya. Berikut tahapan dalam menghitung nilai arus pada beban:

1. Membaca nilai tegangan (Volt) yang dikirim dari sensor ke Arduino.

$$V = \frac{adc \cdot 5}{1023} \tag{10}$$

Keterangan:

adc = Nilai hasil ADC dari V yang masuk ke pin A6 Arduino

5 = Tegangan maksimum yang bisa diterima oleh pin A6 Arduino (Volt)

1023 = Representasi tegangan maksimum dalam bentuk digital yang bisa diterima oleh pin A6 Arduino (didapat dari 2<sup>10</sup> - 1, angka 10 merupakan jumlah bit pada Arduino)

- Membaca nilai arus (Ampere) pada resistor di modul sensor  
Setelah mendapatkan nilai tegangan, akan dicari nilai arus pada resistor yaitu nilai arus yang ada pada beban dengan rumus berikut:

$$I_{resistor} = \frac{V}{200} \quad (11)$$

Keterangan:  
200 = Resistansi resistor (Ohm)

- Mengubah nilai arus sinus pada resistor menjadi arus RMS (Root Mean Square)

Dalam mengubah nilai arus sinus pada resistor menjadi arus RMS, digunakan rumus:

$$I_{rms} = I_{resistor} \cdot 0,707 \quad (12)$$

- Pengalihan  $I_{rms}$  dengan rasio pembacaan arus sensor, yaitu 1000:1

$$I = I_{rms} \cdot 1000 \quad (13)$$

#### H. Hasil Pengujian Sensor Arus Sebelum Dikalibrasi

Pengujian dilakukan selama 2 menit dan menghasilkan 37 data berupa nilai pembacaan oleh sensor arus dengan nilai rata-rata persentase error sebesar 21,64%. Berikut merupakan data hasil pengujian yang disajikan dalam bentuk tabel:

TABEL 7

Nomor	Nilai Tegangan			Persentase Error (%)
	Waktu (detik ke-)	Sensor Arus (Ampere)	Multimeter (Ampere)	
1	3	0,155	0,182	14,83%
2	5	0,138	0,182	24,17%
3	7	0,155	0,182	14,83%
4	9	0,138	0,182	24,17%
5	11	0,138	0,182	24,17%
6	20	0,138	0,182	24,17%
7	25	0,138	0,182	24,17%
8	30	0,138	0,182	24,17%
9	36	0,155	0,182	14,83%
10	39	0,138	0,182	24,17%
11	41	0,138	0,182	24,17%
12	46	0,155	0,182	14,83%
13	47	0,155	0,182	14,83%
14	50	0,138	0,182	24,17%
15	51	0,138	0,182	24,17%
16	52	0,138	0,182	24,17%
17	53	0,138	0,182	24,17%
18	54	0,155	0,182	14,83%
19	64	0,138	0,182	24,17%
20	66	0,138	0,182	24,17%
21	68	0,138	0,182	24,17%
22	74	0,138	0,182	24,17%
23	80	0,155	0,182	14,83%
24	85	0,155	0,182	14,83%

26	94	0,155	0,182	14,83%
26	94	0,155	0,182	14,83%
27	95	0,138	0,182	24,17%
28	96	0,138	0,182	24,17%
29	98	0,138	0,182	24,17%
30	98	0,138	0,182	24,17%
31	98	0,138	0,182	24,17%
32	102	0,138	0,182	24,17%
33	106	0,138	0,182	24,17%
34	109	0,138	0,182	24,17%
35	113	0,138	0,182	24,17%
36	114	0,138	0,182	24,17%
37	118	0,138	0,182	24,17%
Rata-rata persentase error (%)				21,64%

#### I. Penentuan Variabel Pengalibrasi

Dari hasil pengujian pembacaan nilai arus sebelum pengalibrasian, didapat dua nilai yang dibaca, yaitu 0,138 Ampere dan 0,155 Ampere. Cara menghitung nilai kalibrasi adalah dengan menggunakan rumus faktor kalibrasi [21]:

$$\text{Variabel kalibrasi} = \frac{\text{nilai arus yang diinginkan}}{\text{nilai arus yang terbaca}} \quad (14)$$

Nilai arus yang diinginkan untuk dapat dibaca oleh sensor arus adalah 0,182 (nilai asli). Sedangkan, nilai arus yang terbaca oleh sensor ada dua, yaitu 0,138 dan 0,155. Dalam menentukan pemilihan angka “nilai arus yang terbaca”, digunakan perhitungan galat pengukuran, dan memilih angka “nilai arus yang terbaca” dengan persentase galat paling kecil. Berikut tahapannya:

- Jika angka “nilai arus yang terbaca” adalah 0,138  
Mencoba perhitungan nilai arus dengan mengalikan variabel kalibrasi dengan 2 macam nilai pembacaan:

$$\begin{aligned} \text{nilai arus} &= \frac{0,182}{0,138} \cdot 0,138 \\ &= 0,182 \text{ (0\% galat)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{nilai arus} &= \frac{0,182}{0,155} \cdot 0,155 \\ &= 0,204 \text{ (12,08\% galat)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{rata - rata galat} &= \frac{0\% + 12,08\%}{2} \\ &= \mathbf{6,04\%} \end{aligned}$$

- Jika angka “nilai arus yang terbaca” adalah 0,155  
Mencoba perhitungan nilai arus dengan mengalikan variabel kalibrasi dengan 2 macam nilai pembacaan:

$$\begin{aligned} \text{nilai arus} &= \frac{0,182}{0,155} \cdot 0,138 \\ &= 0,162 \text{ (10,98\% galat)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{nilai arus} &= \frac{0,182}{0,155} \cdot 0,155 \\ &= 0,182 \text{ (0\% galat)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{rata - rata galat} \\ &= \frac{10,98\% + 0\%}{2} = 5,49\% \end{aligned}$$

Sedangkan, rumus persentase galat adalah:

$$\% = \frac{\text{selisih antara nilai pembacaan dengan } 0,182}{0,182} \cdot 100\% \quad (15)$$

Nilai terkecil untuk persentase galat ditemukan angka “- nilai arus yang terbaca” adalah 0,155. Sehingga dibuatlah variabel kalibrasi dengan nilai:

$$\frac{0,182}{0,155} = 1.174193548$$

#### J. Pengujian Nilai Arus Pada Sensor Arus Setelah Dikalibrasi

Percobaan ini dilakukan selama 2 menit dan mendapatkan 30 data berupa besaran yang dibaca oleh sensor arus. Didapatkan nilai rata-rata persentase eror sebesar 4,39% (data hasil pengujian disajikan dalam bentuk tabel pada lembar lampiran).

#### K. Hasil Pengujian Sistem Kontrol

Pengujian sistem kontrol dilakukan untuk melihat baik atau tidaknya kinerja sistem kontrol yang telah dibuat. Sistem kontrol berfungsi untuk melakukan peralihan catu daya yang digunakan pada beban. Berikut merupakan -proses pengalihan penggunaan catu dayanya:

1. Jika nilai tegangan yang terbaca pada baterai sebesar 3,4 V atau kurang dari itu, sistem kontrol akan melakukan peralihan penggunaan catu daya dari baterai ke genset (dengan urutan memutus Relay yang menghubungkan beban ke kaki baterai terlebih dahulu, setelah itu menyambung Relay yang menghubungkan beban ke kaki genset).
2. Jika nilai tegangan yang terbaca pada baterai lebih dari atau sama dengan 12 V, sistem kontrol akan melakukan peralihan penggunaan catu daya dari genset ke baterai (dengan urutan memutus Relay yang menghubungkan beban ke kaki genset terlebih dahulu, setelah itu menyambung Relay yang menghubungkan beban ke kaki baterai). Pengujian sistem kontrol dilakukan sebanyak 10 kali dengan spesifikasi pengujian sebagai berikut:

TABEL 8

Pengujian Ke-	Keberhasilan Switch	Durasi Switch
1	Berhasil	2,72
2	Berhasil	2,18
3	Berhasil	1,73
4	Berhasil	1,63
5	Berhasil	1,99
6	Berhasil	2,19
7	Berhasil	1,90
8	Berhasil	2,85
9	Berhasil	2,12
10	Berhasil	2,27
Rata-rata Durasi Switch (detik)		2,158

## V. KESIMPULAN

Dari hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem, didapatkan kesimpulan bahwa sistem kontrol pengalihan catu daya bekerja dengan baik, dengan rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk mengalihkan penggunaan catu daya adalah sebesar 2,158 detik. Sistem pemantauan dapat menampilkan tegangan baterai dan arus pada beban secara berkala dengan pada LCD, dengan persentase eror sebesar 0,534% dan 4,39%. Indikator tambahan berupa Buzzer dan LED berhasil berjalan dan dapat membantu pengguna alat untuk mengetahui status siaga pada sistem.

## REFERENSI

- [1] Harald Overholm. (2015) *Spreading the rooftop revolution: What policies enable solar-as-a-service?* [online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421515001718>
- [2] Herudin, Wahyu Dwi Prasetyo. (2016, June) *Rancang Bangun Generator Sinkron 1 Fasa Magnet Permanen Kecepatan Rendah 750 RPM* [online]. Available: <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jis/article/download/886/697>
- [3] Sumarsono, Dwiatmi Wahyu Saptaningtyas. (2018, April) *PENGEMBANGAN MIKROKONTROLER SEBAGAI REMOTE CONTROL BERBASIS ANDROID* [online]. Available: <http://journal.uinjkt.ac.id/index.php/ti/article/view/6293>
- [4] Fauzan Miftah Mauludy. (2021, 9 February). *PERANCANGAN SISTEM KENDALI AUTOMATIC TRANSFER SWITCH PADA TENAGA SURYA STANDALONE* [online]. Available: <https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id/pustaka/169224/p-erancangan-sistem-kendali-automatic-transfer-switch-pada-tenaga-surya-standalone.html>
- [5] Hasbi Tri Monda, Feriyonika, Paula Santi Rudati. (2018). *Sistem Pengukuran Daya pada Sensor Node Wireless Sensor Network* [online]. Available: <https://jurnal.polban.ac.id/index.php/proceeding/article/download/1037/841>

- [6] Ely P. Sitohang, Dringhuzen J. Mamahit, Novi S. Tulung. (2018). Rancang *Bangun Catu Daya DC Menggunakan Mikrokontroler Atmega 8535* [online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/view/19615/19186>
- [7] Hasanah Aas Wasri, Koerniawan Tony, Yuliansyah. (2018). KAJIAN KUALITAS DAYA LISTRIK PLTS SISTEM OFF-GRID DI STT-PLN [online]. Available: <https://stt-pln.e-journal.id/energi/article/download/211/271>
- [8] Gabriel Paul Tumilar, Fielman Lisi, Marthinus Pakiding. (2015). Optimalisasi Penggunaan Bahan Bakar Pada Generator Set Dengan Menggunakan Proses Elektrolisis [online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/view/7938/7498>
- [9] Muharmen Suari. (2017). Pemanfaatan Arduino nano dalam Perancangan Media Pembelajaran Fisika [online]. Available: <https://ejournal.uinib.ac.id/jurnal/index.php/naturalscience/article/download/443/363>
- [10] Harry Yuliansyah. (2016, May). Uji Kinerja Pengiriman Data Secara Wireless Menggunakan Modul ESP8266 Berbasis Rest Architecture [online]. Available: <https://electrician.unila.ac.id/index.php/ojs/article/download/217/pdf>
- [11] Sulistyono Warjono, Adi Wisaksono, dkk. (2017, July). ALAT UKUR ELEKTRONIK PEMAKAIAN AIR [online]. Available: <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/orbith/article/view/966/783>
- [12] M. Natsir, Dwi Bayu Rendra, A. D. Yudha Anggara. (2019, March). IMPLEMENTASI IOT UNTUK SISTEM KENDALI AC OTOMATIS PADA RUANG KELAS DI UNIVERSITAS SERANG RAYA [online]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/327232742.pdf>
- [13] Taif Muhammad, Yunus Hi Abbas M., Jamil Moh. (2019, May). Penggunaan Sensor ACS712 dan Sensor Tegangan untuk Pengukuran Jatuh Tegangan Tiga Fasa Berbasis Mikrokontroler dan Modul GSM shield [online]. Available: <https://ejournal.unkhair.ac.id/index.php/protk/article/view/1009/pdf>
- [14] Febi Amin Lutfi. (2018, 4 July). PERANCANGAN PURWARUPA SISTEM PERINGATAN KEBOCORAN GAS LIQUEFIED PETROLEUM GAS (LPG) [online]. Available: <http://eprints.uty.ac.id/1585/1/jurnal%20publikasi.pdf>
- [15] Nurullah Yuli Sapriyanto. (2020, 3 September). SISTEM KONTROL DAN MONITORING DAYA LISTRIK RUMAH BERBASIS *INTERNET OF THINGS* [online]. Available: <https://repository.dinamika.ac.id/id/eprint/5312/1/1441020060-2020-UNIVERSITASDINAMIKA.pdf>
- [16] Andrian Surya Pradana dan Joni Fat. (2013, October). OTOMATISASI GENERATOR SET UNTUK SKALA RUMAH DAN HOME INDUSTRY [online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/271532-otomatisasi-generator-set-untuk-skala-ru-fed1a917.pdf>
- [17] Henry W. Ott, Electromagnetic Compatibility Engineering. John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- [18] Nasution Muslih. (2021, February). Karakteristik Baterai Sebagai Penyimpanan Energi Listrik Secara Spesifik [online]. Available: <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/jet/article/view/3797/2652>
- [19] Mundus Ray, Khwee K. Hie, Hiendro Ayong. RANCANG BANGUN INVERTER DENGAN MENGGUNAKAN SUMBER BATERAI DC 12V [online]. Available: <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/download/35261/75676582713>
- [20] Harto Saputro Jimy, Sukmadi Tejo, Karnoto (2013). ANALISA PENGGUNAAN LAMPU LED PADA PENERANGAN DALAMRUMAH [online]. Available: <https://ejournal.undip.ac.id/index.php/transmisi/article/view/4660/4221>
- [21] Muhammad Rizqullah Farrell, "PERANCANGAN SISTEM KENDALI PENGISIAN DAYA FOTOVOLTAIK BERBASIS MPPT DENGAN BUCK-BOOST CONVERTER PADA MOBIL LISTRIK." S.T. thesis, S1 TE, Tel-U, Bandung., IND, 2021.
- [22] Muis Mappalotteng Abdul, Syahrul (2015, October). ANALISIS PENERANGAN PADA RUANGAN DI GEDUNG PROGRAM PASCASARJANA UNM MAKASSAR [online]. Available: <https://ojs.unm.ac.id/pinisi/article/download/2123/1062>
- [23] K. Armstrong M. (1999, September). PCB design techniques for lowest-cost EMC compliance. Part 1 [online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/3364586\\_PCB\\_design\\_techniques\\_for\\_lowest-cost EMC compliance Part 1](https://www.researchgate.net/publication/3364586_PCB_design_techniques_for_lowest-cost EMC compliance Part 1)
- [24] Jumrianto, Wahyudi, Syakur Abdul (2020, January). Kalibrasi Sensor Tegangan dan Sensor Arus dengan Menerapkan Rumus Regresi Linear menggunakan Software Bascom AVR [online]. Available: <https://ejournal.ivet.ac.id/index.php/jsite/article/view/1718>
- [25] Rahmat La Ida Abdul, P. Sardju Ahmad, Hamsir Ayub Wahab Iis (2017, September). Modul Analog To Digital Converter (ADC) 8 Bit Dengan Menggunakan Metode Successive Approximation Register (SAR) [online]. Available: <https://ejournal.unkhair.ac.id/index.php/protk/article/view/269/pdf>
- [26] Pauzan Muh, Yanti Indri (2019, October). Penggunaan Pin ADC (Analog to Digital Converter) pada Mikrokontroler ATmega8535 untuk Menghasilkan Catu Daya Digital [online]. Available: [https://jurnal.untan.ac.id/index.php/Elkha/article/view/35036/pdf\\_1](https://jurnal.untan.ac.id/index.php/Elkha/article/view/35036/pdf_1)